



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**  
①⑩ **DE 195 32 252 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 22 F 9/08**  
B 22 D 21/04  
C 22 C 21/02  
B 21 C 23/08

②① Aktenzeichen: 195 32 252.5  
②② Anmeldetag: 1. 9. 95  
④③ Offenlegungstag: 6. 3. 97

DE 195 32 252 A 1

⑦① Anmelder:  
PEAK-Werkstoff GmbH, 42553 Velbert, DE

⑦② Erfinder:  
Commandeur, Bernhard, Dipl.-Ing., 42489 Wülfrath,  
DE; Hummert, Klaus, Dipl.-Phys., 48653 Coesfeld,  
DE; Schattevoy, Rolf, Dipl.-Ing., 42115 Wuppertal,  
DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 34 34 110 A1  
DE 27 09 844 A1  
DE 23 33 198 A1  
EP 06 35 318

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Herstellung von dünnen Rohren (III)

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von dünnwandigen Rohren, welche aus einem warmfesten und verschleißfesten Aluminiumwerkstoff bestehen. Das Verfahren beinhaltet das Sprühkompaktieren eines dickwandigen Rohres aus einem übereutektischen AlSi-Material, eventuell eine anschließende Überalterungsglühung und das Warmumformen zu einem dünnwandigen Rohr. Ein derartiges Verfahren ist insbesondere zur Herstellung von Zylinderlaufbuchsen von Verbrennungsmotoren aus Leichtmetall geeignet, da die gefertigten Laufbuchsen die geforderten Eigenschaften bezüglich Verschleißfestigkeit, Warmfestigkeit und Reduzierung der Schadstoffemissionen aufweisen.

DE 195 32 252 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 97 602 070/319

5/27

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von dünnwandigen Rohren, welche aus einem warmfesten und verschleißfesten Aluminiumwerkstoff bestehen, insbesondere zum Einsatz als Zylinderlaufbuchsen für Verbrennungsmotoren.

Laufbuchsen sind dem Verschleiß ausgesetzte Bauteile, die in die Zylinderöffnungen der Kurbelgehäuse des Verbrennungsmotors eingesetzt, eingepreßt oder eingegossen werden.

Die Zylinderlaufflächen eines Verbrennungsmotors sind starken Reibbeanspruchungen durch den Kolben bzw. durch die Kolbenringe und örtlich auftretenden hohen Temperaturen ausgesetzt. Es ist daher erforderlich, daß diese Flächen aus verschleißfesten und warmfesten Materialien bestehen.

Um dieses Ziel zu erreichen, gibt es u. a. zahlreiche Verfahren, die Oberfläche der Zylinderbohrung mit verschleißfesten Beschichtungen zu versehen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine Laufbuchse aus einem verschleißfesten Material im Zylinder anzuordnen. So wurden u. a. Graugußlaufbuchsen verwendet, die aber eine im Vergleich zu Aluminium-Werkstoffen geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen und andere Nachteile aufweisen.

Das Problem wurde vorerst durch einen gegossenen Zylinderblock aus einer übereutektischen AlSi-Legierung gelöst. Aus gießtechnischen Gründen ist der Silizium-Gehalt auf maximal 20 Gew.-% begrenzt. Als weiterer Nachteil des Gießverfahrens ist festzuhalten, daß während der Erstarrung der Schmelze Silizium-Primärteilchen mit verhältnismäßig großen Abmessungen (ca. 30–80 µm) ausgeschieden werden. Aufgrund der Größe und ihrer winkligen und scharfkantigen Form führen sie zu Verschleiß an Kolben und Kolbenringen. Man ist daher gezwungen, die Kolben und die Kolbenringe durch entsprechende Überzüge/Beschichtungen zu schützen. Die Kontaktfläche der Si-Teilchen zum Kolben/Kolbenring wird durch mechanische Bearbeitung eingeebnet. Einer solchen mechanischen Bearbeitung schließt sich dann eine elektrochemische Behandlung an, wodurch die Aluminiummatrix zwischen den Si-Körnern leicht zurückgesetzt wird, so daß die Si-Körner als Traggerüst aus der Zylinderlauffläche geringfügig herausragen. Der Nachteil derartig gefertigter Zylinderlaufbahnen besteht zum einen in einem beachtlichen Herstellungsaufwand (teure Legierung, aufwendige mechanische Bearbeitung, eisenbeschichtete Kolben, armierte Kolbenringe) und zum anderen in der mangelhaften Verteilung der Si-Primärteilchen. So gibt es große Bereiche im Gefüge, die frei von Si-Teilchen sind und somit verstärktem Verschleiß unterliegen. Um diesen Verschleiß zu vermeiden, ist ein relativ dicker Ölfilm als Trennmedium zwischen Laufbahn und Reibpartnern erforderlich. Für die Einstellung der Ölfilmdicke ist u. a. die Freilegungstiefe der Si-Teilchen entscheidend. Ein verhältnismäßig dicker Ölfilm führt zu höheren Reibungsverlusten in der Maschine und zu einer stärkeren Erhöhung der Schadstoffemission.

Demgegenüber ist ein Zylinderblock gemäß DE 42 30 228, der aus einer untereutektischen AlSi-Legierung gegossen und mit Laufbuchsen aus übereutektischen AlSi-Legierungsmaterial versehen wird, kostengünstiger. Die zuvor genannten Probleme werden aber auch hier nicht gelöst.

Um die Vorteile der übereutektischen AlSi-Legierungen als Laufbuchsenmaterial nutzen zu können, ist das

Gefüge hinsichtlich der Si-Körner zu verändern. Aluminiumlegierungen, die gießtechnisch nicht realisierbar sind, können bekanntlich durch pulvermetallurgische Verfahren oder Sprühkompaktieren maßgeschneidert hergestellt werden.

So sind auf diese Weise übereutektische AlSi-Legierungen herstellbar, die aufgrund des hohen Si-Gehaltes, der Feinheit der Si-Teilchen und der homogenen Verteilung eine sehr gute Verschleißfestigkeit besitzen und durch Zusatzelemente wie beispielsweise Fe, Ni oder Mn die erforderliche Warmfestigkeit erhalten. Die in diesen Legierungen vorliegenden Si-Primärteilchen haben eine Größe von ca. 0,5 bis 20 µm. Damit sind die auf diese Weise hergestellten Legierungen geeignet für einen Laufbuchsenwerkstoff.

Obwohl Aluminium-Legierungen im allgemeinen leicht zu verarbeiten sind, ist das Umformen dieser übereutektischer Legierungen problematischer. Aus der EP 0 635 318 ist ein Verfahren zum Herstellen von Laufbuchsen aus einer übereutektischen AlSi-Legierung bekannt. Hier wird die Laufbuchse durch Strangpressen bei sehr hohen Drücken und Strangpreßgeschwindigkeiten von 0,5 bis 12 m/min gefertigt. Um kostengünstig durch Strangpressen Laufbuchsen auf Endmaß zu produzieren, sind sehr hohe Preßgeschwindigkeiten notwendig. Es hat sich gezeigt, daß bei derartig schwer preßbaren Legierungen und den zu erzielenden geringen Wandstärken der Laufbuchsen die hohen Preßgeschwindigkeiten zum Aufreißen der Profile beim Strangpressen führen.

Aus der WO 87/03012 ist das Sprühkompaktieren von Hohlzylindern, den sogenannten Rohrluppen, bekannt. Beispielsweise ist die Herstellung von Rohrluppen mit Wandstärken von 25 bis 40 mm beschrieben. Beim Umformen derartiger Rohrluppen zu dünnwandigen Rohren z. B. durch Strangpressen treten die gleichen oben beschriebenen Probleme auf.

Die Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, ein verbessertes und weitaus kostengünstigeres Verfahren zur Herstellung von dünnwandigen Rohren, insbesondere für Zylinderlaufbuchsen von Verbrennungsmotoren, zur Verfügung zu stellen, wobei die gefertigten Laufbuchsen die geforderten Eigenschaftsverbesserungen bezüglich Verschleißfestigkeit, Warmfestigkeit und Reduzierung der Schadstoffemissionen aufweisen sollen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den im Patentanspruch 1 angegebenen Verfahrensschritten gelöst.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die erforderlichen tribologischen Eigenschaften werden insbesondere dadurch erreicht, daß Silizium-Partikel als Primärausscheidungen in einem Größenbereich von 0,5 bis 20 µm, oder als zugesetzte Partikel in einem Größenbereich bis 80 µm im Werkstoff vorhanden sind. Zur Herstellung solcher Al-Legierungen müssen Verfahren angewendet werden, die eine weit höhere Erstarrungsgeschwindigkeit einer hochlegierten Schmelze erlauben, als es mit konventionellen Gießverfahren möglich ist.

Dazu gehört das Sprühkompaktierverfahren (im nachfolgenden "Sprühkompaktieren"). Zur Erzielung der gewünschten Eigenschaften wird eine mit Silizium hochlegierte Aluminium-Legierungsschmelze verdüst und im Stickstoffstrahl mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 1000°C/s abgekühlt. Die teilweise noch flüssigen Pulverteilchen werden auf ein horizontal um die

Längsachse rotierendes Trägerrohr aus einem artgleichen Material oder einem konventionellen Aluminium-Werkstoff (z. B. AlMgSi0,5) gesprüht. Das Trägerrohr, welches vorzugsweise Wandstärken von 2–3 mm hat, wird während des Vorganges linear unter dem Sprühstrahl verschoben. Durch Überlagerung der Rotations- und der Translationsbewegung des Trägerrohres entsteht ein zylindrisches Rohr mit einem fest vorgegebenen Innendurchmesser. Der Außendurchmesser ergibt sich aus der Vorschubgeschwindigkeit und der effektiven Kompaktierrate. Auf diese Weise können Rohre mit Wandstärken von 6 bis 20 mm hergestellt werden. Durch geeignete Zuführ- und Führungssysteme für die Trägerrohre kann ein quasikontinuierlicher Produktionsbetrieb erreicht werden.

Aufgrund der hohen Abkühlgeschwindigkeiten entstehen in diesem Sprühkompaktierprozeß Si-Primärausscheidungen bis zu 20 µm Größe. Eine Anpassung der Si-Ausscheidungsgröße erreicht man durch das "Gas zu Metall – Verhältnis" (Normkubikmeter Gas pro Kilogramm Schmelze), mit dem die Erstarrungsgeschwindigkeit im Prozeß eingestellt werden kann. Wegen der hohen Erstarrungsgeschwindigkeiten und der Übersättigung der Schmelze können Si-Gehalte der Legierungen bis zu 40 Gew.-% realisiert werden. Aufgrund der schnellen Abschreckung der Aluminium-Schmelze im Gasstrahl wird der Übersättigungszustand im erhaltenen Rohr quasi "eingefroren".

Der Sprühkompaktierprozeß bietet weiterhin die Möglichkeit, über einen Partikelinjektor Teilchen in den Bolzen einzubringen, die nicht in der Schmelze vorhanden waren. Da diese Teilchen eine beliebige Geometrie und eine beliebige Größe zwischen 2 µm und 400 µm aufweisen können, bestehen eine Vielzahl von Einstellungsmöglichkeiten für ein Gefüge. Diese Teilchen können z. B. Si-Partikel im Bereich von 2 µm bis 400 µm oder oxidkeramische (z. B. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oder nichtoxidkeramische Teilchen (z. B. SiC, B<sub>4</sub>C, etc.) im vorgenannten Teilchengrößenspektrum sein, wie sie kommerziell erhältlich und für den tribologischen Aspekt sinnvoll sind.

Der Gefügestand des sprühkompaktierten Rohres kann durch anschließende Überalterungsglühungen geändert werden. Durch eine Glühung kann das Gefüge auf eine Si-Korngröße von 2 bis 30 µm eingestellt werden, wie sie für die geforderten tribologischen Eigenschaften wünschenswert ist. Das Heranwachsen größerer Si-Partikel während des Glühprozesses wird durch Diffusion im Festkörper auf Kosten kleinerer Si-Partikel bewirkt. Diese Diffusion ist abhängig von der Überalterungstemperatur und der Dauer der Glühbehandlung. Je höher die Temperatur gewählt wird, desto schneller wachsen die Si-Körner. Geeignete Temperaturen liegen bei etwa 500°C, wobei eine Glühdauer von 3–5 Stunden ausreichend ist.

Das so eingestellte und damit maßgeschneiderte Gefüge verändert sich bei den nachfolgenden Verfahrensschritten nicht mehr oder es verändert sich im Sinne der geforderten tribologischen Eigenschaften günstig.

Abhängig von der Ausgangswandstärke der solchermaßen hergestellten Rohre wird durch Warmumformen über verschiedene Verfahren eine Reduzierung der Wandstärke auf die geforderten Endmaße erreicht. Die Prozeßtemperaturen liegen zwischen 300°C und 550°C. Dabei dient das Warmumformen nicht nur der Formgebung, sondern auch zur Schließung der prozeßbedingten Restporosität (1–5%) im sprühkompaktierten Ausgangsmaterial.

Das auf die Endwanddicke geformte Rohr wird an-

schließend in Rohrabchnitte der geforderten Länge zerteilt.

Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß das Material für die Laufbuchse maßgeschneidert werden kann. Gleichzeitig wird dem hohen Aufwand beim einstufigen Strangpressen dünnwandiger Rohre sowohl hinsichtlich Preßdruck und Preßgeschwindigkeit als auch Produktqualität und Wirtschaftlichkeit durch die beschriebene Fertigungsweise erfolgreich ausgewichen.

#### Beispiel 1

Eine Legierung der Zusammensetzung Al-Si<sub>25</sub>Cu<sub>2,5</sub>Mg<sub>1</sub>Ni<sub>1</sub> wird bei einer Schmelzentemperatur von 830°C mit einem Gas/Metall-Verhältnis von 4,5 m<sup>3</sup>/kg (Normkubikmeter Gas pro Kilogramm Schmelze) durch Sprühkompaktieren auf einem Trägerrohr (Innendurchmesser: 69,5 mm, Wandstärke: 2,0 mm) bei einer Vorschubgeschwindigkeit von ca. 0,6 m/min zu einem Rohr mit einer Wandstärke von 15,0 mm kompaktiert. Im sprühkompaktierten Material liegen unter den genannten Bedingungen die Si-Ausscheidungen im Größenbereich von 1 µm bis 10 µm vor. Das sprühkompaktierte Rohr wird einer Glühbehandlung von 4 h bei 520°C unterzogen. Nach dieser Glühbehandlung liegen die Si-Ausscheidungen im Größenbereich von 2 µm bis 30 µm. Durch anschließende Warmumformung durch Rundkneten bei 420°C wird das sprühkompaktierte Rohr von einem Außendurchmesser von 98 mm auf einen Außendurchmesser von 79 mm und einem Innendurchmesser von 69 mm, der durch einen Dorn geformt wird, umgeformt. Der Umformgrad ist ausreichend, um die zuvor genannte Restporosität im sprühkompaktierten Rohr vollständig zu schließen. Beim Rundkneten tritt keine anderweitige Gefügeänderung auf.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von dünnwandigen Rohren aus einem warmfesten und verschleißfesten Leichtmetallwerkstoff, dadurch gekennzeichnet, daß

— eine Schmelze aus einer AlSi-Legierung bereitgestellt wird,

— durch Sprühkompaktieren diese Legierungsschmelze auf ein sich drehendes Trägerrohr abgelagert wird, so daß direkt ein dickwandiges Rohr mit einer Wandstärke von 6 bis 20 mm aus einem übereutektischen AlSi-Material entsteht, wobei die enthaltenen Si-Primärteilchen eine Größe von 0,5 bis 20 µm, vorzugsweise eine Größe von 1 bis 10 µm besitzen,

— dieses dickwandige Rohr im Bedarfsfall zur Vergrößerung der enthaltenen Si-Primärteilchen einer Überalterungsglühung unterzogen wird, wobei die Si-Primärteilchen zu einer Größe von 2 µm bis 30 µm anwachsen,

— dieses Rohr durch ein Warmumformverfahren bei Temperaturen von 250 bis 500°C auf eine Wandstärke von 1,5 bis 5 mm reduziert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung des Rohres eine Legierungsschmelze der folgenden Zusammensetzung eingesetzt wird:

Al Si(17–35) Cu(2,5–3,5) Mg(0,2–2,0) Ni(0,5–2).

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung des Rohres eine Legierungsschmelze der folgenden Zusammensetzung eingesetzt wird:  
Al Si(17—35) Fe(3—5) Ni(1—2). 5
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung des Rohres eine Legierungsschmelze der folgenden Zusammensetzung eingesetzt wird:  
Al Si(25—35). 10
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung des Rohres eine Legierungsschmelze der folgenden Zusammensetzung eingesetzt wird:  
Al Si(17—35) Cu(2,5—3,3) Mg(0,2—2,0) Mn(0,5—5). 15
6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß beim Sprühkompaktieren ein Teil des Siliziums über die Schmelze der eingesetzten AlSi-Legierung und ein Teil des Siliziums in Form von Si-Pulver mittels eines Partikelinjektors 20 in das Rohr eingebracht wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß beim Sprühkompaktieren mittels eines Partikelinjektors zusätzlich verschleißfeste Partikel oxid-keramischer oder nicht-oxid-keramischer Natur eingebracht werden. 25
8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Überalterungsglühung zur Vergrößerung der Si-Primärteilchen bei Temperaturen von 460 bis 540°C über einen Zeitraum von 0,5 bis 10 Stunden vorgenommen wird. 30
9. Verfahren nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Warmumformen des dickwandigen Rohres durch Rundkneten oder Rundhämmern erfolgt. 35
10. Verfahren nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Warmumformen des dickwandigen Rohres durch Rohrwalzen mit Innenwerkzeug erfolgt.
11. Verfahren nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Warmumformen des dickwandigen Rohres durch Drückwalzen erfolgt. 40
12. Verfahren nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Warmumformen des dickwandigen Rohres durch Rohrziehen erfolgt. 45
13. Verfahren nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Warmumformen des dickwandigen Rohres durch Ringwalzen erfolgt.
14. Verfahren nach Anspruch 1—8, dadurch gekennzeichnet, daß das Warmumformen des dickwandigen Rohres durch Vorwärts- bzw. Rückwärtshohlfließpressen wahlweise mit oder ohne Gegendruck erfolgt. 50
15. Verfahren nach Anspruch 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das im Durchmesser und in der Wandstärke auf Endmaß geformte Rohr in Rohrabschnitte gewünschter Länge zerteilt wird. 55
16. Verwendung eines nach den Ansprüchen 1 bis 15 hergestellten Rohrabschnittes als Laufbuchse für Verbrennungsmotoren aus Leichtmetall. 60